



Competencia de estudiantes de secundaria para aplicar ideas sobre el funcionamiento de los ecosistemas

Competence of high school students to apply ideas about the functioning of ecosystems

Isabel García-Rodeja Gayoso, Elba Tamara Silva García, Vanessa Sesto Varela
Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España
isabel.garcia-rodeja@usc.es, elbatami@hotmail.com, vanessa.sesto@usc.es

RESUMEN • Se analiza la competencia de estudiantes de 1º de Bachillerato (Ciencias y Artes) y de 4.º de Educación Secundaria Obligatoria de diversificación para aplicar ideas relativas al funcionamiento de los ecosistemas y los patrones de pensamiento causal que activan en sus explicaciones. Para la obtención de datos se utilizó un cuestionario de preguntas abiertas. Los resultados muestran que la mayoría de los estudiantes tuvieron dificultades para aplicar ideas como el papel de los organismos descomponedores, el flujo de energía y el concepto de energía química. Los resultados también sugieren que la familiaridad con los conceptos es clave para activar patrones de razonamiento causal complejo. Entre las implicaciones didácticas se señala la necesidad de explicitar la conexión entre los contenidos de Biología, de Química y de Física.

PALABRAS CLAVE: Alfabetización ecológica; Razonamiento causal; Ecosistemas; Ciclo de la materia; Flujo de energía.

ABSTRACT • We analyze the competence of tenth-grade students (specialty in Science and Arts) and ninth-grade students with generalized learning difficulties when applying ideas related to the functioning of ecosystems and the patterns of causal thinking that they activate in their explanations. An open-ended questionnaire was used to collect data. The results show that most students had difficulties to apply ideas such as the role of decomposer organisms, the energy flow as well as the concept of chemical energy. The results also suggest that familiarity with concepts is key to activate patterns of complex causal reasoning. Among the study's didactic implications, the need to make explicit the relationship between the contents of biology, chemistry and physics is thus pointed out.

KEYWORDS: Ecological literacy; Causal reasoning; Ecosystems; Matter cycle; Energy flow.

Recepción: julio 2018 • Aceptación: diciembre 2018 • Publicación: marzo 2020

INTRODUCCIÓN

Este artículo tiene su marco teórico dentro de los trabajos que tratan la necesaria alfabetización ecológica y, más concretamente, la comprensión de conceptos clave sobre el funcionamiento de los ecosistemas y el uso de patrones de razonamiento causal simple y complejo.

La alfabetización ecológica se puede definir como la capacidad de entender los principios de funcionamiento y la organización de los ecosistemas, y utilizar estos principios para una mejor comprensión de la problemática ambiental actual y poder así afrontar el reto de crear comunidades humanas más sostenibles (e. g. Berkowitz, Ford y Brewer, 2005; Capra, 1995). Desde este enfoque, son muchos los autores que señalan que los conceptos y los principios de ecología y, entre ellos, el concepto de ecosistema son pilares básicos para la educación de la ciudadanía (Berkowitz et al., 2005; Fernández y Casal, 1995; García-Rodeja, 1996). El concepto de ecosistema es, por tanto, uno de los conceptos más poderosos en ecología y merece la pena conocer en qué medida lo que estudian los estudiantes les ayuda a construir un modelo de ecosistema que les permita interpretar determinadas situaciones, como un paso previo a la aplicación de estos conocimientos a otros temas como las controversias sociocientíficas respecto a las que tendrán que posicionarse y tomar decisiones de forma responsable.

Una comprensión de calidad ha de incluir la capacidad de saber aplicar lo aprendido a distintas situaciones y contextos. En el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (MECD, 2015), se define la competencia como «una combinación de habilidades prácticas, conocimientos, motivación, valores éticos, actitudes, emociones, y otros componentes sociales y de comportamiento que se movilizan conjuntamente para lograr una acción eficaz» (p. 170). Esto, dentro de las materias de ciencias, supone la necesidad de ayudar al alumnado en la construcción del conocimiento, pero también de darles la oportunidad de aplicarlo en distintas situaciones. Con este trabajo se pretende dar a conocer en qué medida los estudiantes son capaces de aplicar conceptos básicos de ecología y describir los patrones de razonamiento que activan en sus explicaciones. Para ello, se analiza dicha capacidad en estudiantes de 1.º de Bachillerato de diferentes ramas y de 4.º de la ESO de diversificación. En concreto, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Son capaces de aplicar ideas referentes al ciclo de la materia?
- ¿Son capaces de aplicar ideas referentes al flujo de energía?
- ¿En qué medida activan patrones de razonamiento causal complejo para explicar el funcionamiento de los ecosistemas?
- ¿Existen diferencias en la activación de patrones causales complejos para explicar el funcionamiento de los ecosistemas entre estudiantes con dificultades generalizadas de aprendizaje y entre estudiantes que cursan diferentes ramas de Bachillerato?

MARCO TEÓRICO

Estado de la cuestión

Desde hace ya varias décadas, los estudios sobre los problemas de aprendizaje, las ideas alternativas o los obstáculos epistemológicos han sido protagonistas de la investigación en Didáctica de las Ciencias. Los conceptos relacionados con el funcionamiento de los ecosistemas han sido temas tratados de forma reiterada (e. g. Adeniyi, 1985; Bravo y Jiménez, 2014; Leach, Driver, Scott y Wood-Robinson, 1996; Munson, 1994; Sánchez y Pontes, 2010). Al ser el concepto de ecosistema un tema complejo que relaciona diferentes ideas, es necesaria, además, una revisión de las dificultades de los estudiantes

sobre otros conceptos como fotosíntesis y respiración (Leach et al., 1996; Marmaroti y Galanopoulou, 2006), descomposición (Helldén, 2004; Ibarra, Carrasquer y Gil, 2010) y energía (Park y Johnson, 2016), entre otros. Si los estudiantes tienen un concepto inadecuado de respiración o de fotosíntesis y entienden estos procesos como simples intercambios gaseosos, tendrán dificultades para entender el ciclo del carbono en los ecosistemas y, por tanto, la falta de comprensión afectará al entendimiento sobre cómo funciona el ecosistema. De la misma forma, para entender el ciclo de la materia se necesita entender, por ejemplo, que en el proceso de descomposición esta se conserva y se transforma, y que no desaparece, y tendrán que entender que lo que se conserva son los átomos y no las moléculas (Düsing, Asshoff y Hammann, 2018; Ibarra et al., 2010; Smith y Anderson, 1986). Para entender el flujo de energía, habrá que entender qué significa que se conserve y qué significa que se degrade la energía (Andersson, 1990; Park y Johnson, 2016). Esto nos lleva a una cascada de ideas. Igual que en los ecosistemas se establecen cascadas tróficas como efectos indirectos y amplificadas que ejercen los organismos que se encuentran en la cima de la cadena alimenticia sobre los organismos situados en los niveles inferiores, lo mismo ocurre en nuestros sistemas cognitivos con los conceptos que Ausubel y Barberán (2002) consideran inclusores sobre los conceptos inclusivos. De este modo, la comprensión de unas ideas facilitará la comprensión de otras ideas, y las dificultades o las ideas alternativas de unos conceptos los llevarán a la falta de comprensión de otros.

En definitiva, para entender muchos de los procesos que ocurren en el medio ambiente hay que ser capaz de construir explicaciones sobre los ciclos de la materia y los flujos de energía entre los sistemas, y además hay que ser capaz de describir las transformaciones de la materia a nivel macroscópico en términos de modelos atómico-moleculares (Barker y Slingsby, 1998).

Rutas de progresión en el aprendizaje y patrones de razonamiento causal

Los resultados de los estudios sobre las dificultades en la comprensión de los conceptos ecológicos nos permiten detectar las ideas clave en las que debemos enfocar la enseñanza para un aprendizaje comprensivo y generativo (Wittrock, 1992). Además, estos análisis ayudan a determinar posibles etapas de progresión en el currículo. En el tema objeto de este estudio generalmente se describen dos etapas. Una primera etapa hace referencia al conocimiento de las especies, la relación de determinadas características de las especies con el hábitat, entender algunas relaciones causales simples entre los efectos de los organismos y el medio; y una segunda etapa, de mayor complejidad, que hace referencia a la comprensión no solo de la estructura de los ecosistemas, sino también del funcionamiento, los flujos de energía, los ciclos de la materia y los conceptos de cambio y estabilidad (Barker y Slingsby, 1998; Prieto, Blanco y Brero, 2002). Esto último requiere ya el uso de patrones de razonamiento complejo (Grotzer y Basca, 2003). En esta última etapa, el eje fundamental de la ecología se mueve en torno a las ideas de sistema, estructura y función, y ya se entienden las interacciones entre factores bióticos y abióticos como relaciones recíprocas, y los procesos macroscópicos de transformación de la materia se describen a través de modelos atómico-moleculares. Así, la idea de ecosistema se puede representar con el esquema de la figura 1.

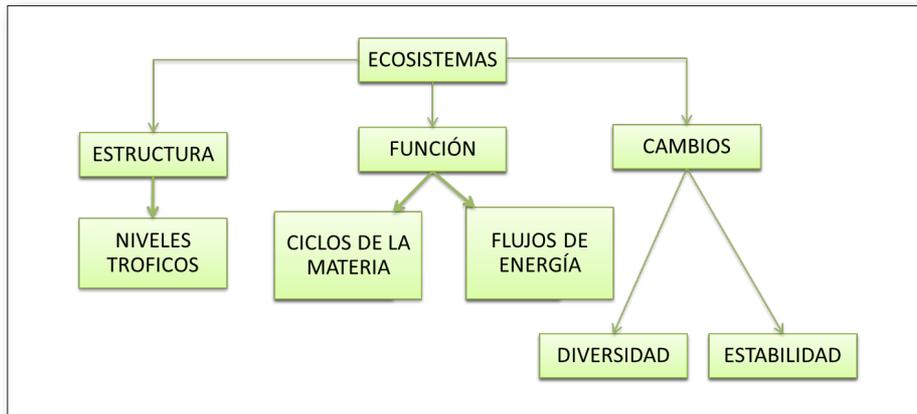


Fig. 1. Ideas clave del concepto de ecosistema.

Bell-Basca, Grotzer, Donis y Shaw (2000) argumentan que muchas de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes sobre el tema que nos ocupa se deben a la naturaleza de los patrones causales que aplican en sus explicaciones sobre el funcionamiento del ecosistema. Señalan, por ejemplo, que los estudiantes representan las redes tróficas como secuencias lineares, siguiendo un patrón de causalidad lineal simple basado en una relación de causa-efecto unidireccional y directa, y de un solo paso. Estos autores consideran que, para entender y razonar de forma adecuada sobre el funcionamiento del ecosistema, es necesario aplicar otros tipos de razonamientos causales característicos de un pensamiento complejo. Así, Bell-Basca et al. (2000) consideran que, para interpretar muchas de las situaciones donde entran en juego las ideas clave que explican el funcionamiento del ecosistema, los estudiantes tienen que activar patrones de razonamiento causal complejo tipo dominó, importantes para entender, por ejemplo, el flujo de energía en las redes tróficas, donde el efecto se propaga desde la causa (perturbación) hacia los otros componentes del ecosistema; patrones de razonamiento causales cíclicos, para entender, por ejemplo, los ciclos biogeoquímicos; y patrones de razonamiento causales interactivos, para entender, por ejemplo, las relaciones entre factores bióticos y abióticos, en las que un evento o relación tiene efectos mutuos y con frecuencia simultáneos en varios de los componentes de un ecosistema.

METODOLOGÍA

En este trabajo se emplea una metodología cualitativa que permite investigar en profundidad un fenómeno en un contexto específico (Taylor y Bodgan, 1998). Se analiza la capacidad de aplicar ideas de una pequeña muestra de estudiantes, por lo que no pretende generalizar resultados y conclusiones a una población más amplia. Sin embargo, los resultados de los estudios cualitativos pueden compararse con los de otros trabajos en los que estén implicados participantes de otros contextos, y es el encontrar patrones comunes lo que permitiría un cierto grado de generalización.

Participantes y contexto

En este estudio participaron veintiséis estudiantes de un instituto de secundaria y se realizó durante el último trimestre del curso escolar. De los veintiséis participantes, veintiuno eran estudiantes de 1.º de Bachillerato, de los cuales catorce pertenecían al itinerario de Artes y siete al de Ciencias. Los cinco participantes restantes eran estudiantes de 4.º de la ESO de diversificación que cursaban el Módulo Científico-Tecnológico. Los programas de diversificación son programas para estudiantes con dificultades generalizadas de aprendizaje. En este caso, los estudiantes cursaban el segundo ciclo de la

Educación Secundaria Obligatoria siguiendo una organización del currículo distinta de lo habitual para alcanzar los objetivos y competencias básicas de la etapa.

Tanto los estudiantes de 4.º de la ESO como los de Bachillerato habían estado expuestos a enseñanzas referentes a la estructura y el funcionamiento del ecosistema, ya que estos temas forman parte del currículo de secundaria. En el Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (MEC, 2007), vigente en el momento de la intervención, se incluían contenidos relativos a los ecosistemas en todos los cursos de la ESO. En concreto, en el Bloque 6 de Ciencias de la Naturaleza de 2.º de la ESO se hacía referencia a la identificación de los componentes de un ecosistema, la influencia de los factores bióticos y abióticos, y el papel de los organismos productores, consumidores y descomponedores. En el Bloque 4 de Ciencias de la Naturaleza de 3.º de la ESO se hacía referencia al impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas, y el Bloque 4 de Biología y Geología de 4.º de la ESO se dedicaba a la dinámica de los ecosistemas.

Por otra parte, cabe mencionar que, aunque la muestra de estudio es accidental, pues está constituida por los estudiantes a los que se tuvo acceso, la diversidad de los grupos seleccionados nos permite describir si existen diferencias entre unos y otros con relación a la capacidad de aplicar ideas relativas al funcionamiento del ecosistema y a la activación o no de razonamientos complejos en sus explicaciones.

Instrumento de recogida de datos

El instrumento de recogida de datos fue un cuestionario de preguntas abiertas (figura 2) construido a partir de los cuestionarios de Brehm, Anderson y DuBay (1986), Munson (1994) y Marmaroti y Galanopoulou (2006). En este trabajo se analizan las respuestas a tres de las preguntas del cuestionario.

La primera pregunta (figura 2) plantea la necesidad de los descomponedores en los ecosistemas. Con la segunda pregunta se pretende conocer si los estudiantes aplican ideas relativas al papel que juegan las plantas en el flujo de energía, al entender que son organismos autótrofos capaces de captar la energía del sol y transformarla en energía química en la materia orgánica. Con la tercera pregunta se pretende conocer si los estudiantes son capaces de aplicar el concepto de energía química al discriminar los alimentos que aportan energía de sustancias de baja energía. Además, con esta pregunta se pretende conocer si los estudiantes discriminan las formas de energía que no son asimilables por los seres heterótrofos como la luz, o que no son asimilables por los sistemas biológicos en el caso de la energía térmica.

Los estudiantes respondieron al cuestionario de forma individual. Para completar los cuestionarios, los estudiantes dispusieron de una sesión de cincuenta minutos. En ningún momento la investigadora interfirió en las respuestas de los estudiantes.

1. Imagina que, en una isla con abundante fauna y vegetación, se lanza desde una avioneta un producto que provoca la desaparición de los hongos y de las bacterias. Intenta describir cómo puede afectar a la isla esta desaparición después de un año y después de cincuenta años.
2. Las plantas verdes necesitan energía para sobrevivir y crecer. De la siguiente lista, rodea con un círculo los términos que representan fuentes de energía utilizadas por las plantas rodes para el crecimiento y la supervivencia. Explica tu respuesta:
 agua suelo luz solar fertilizante bacterias
3. Las personas necesitamos energía para llevar a cabo funciones vitales tales como respirar, movernos o crecer. Marca los términos que representan fuentes de energía para las funciones vitales de los seres humanos. Justifica tu respuesta.
 leche azúcar agua minerales carne luz solar energía térmica

Fig. 2. Preguntas del cuestionario a partir de Brehm et al. (1986), Marmaroti y Galanopoulou (2006) y Munson (1994).

Procedimiento de análisis de datos

Para analizar las producciones escritas de los estudiantes a partir de las respuestas a cada una de las preguntas del cuestionario, se han generado categorías tras interpretar los datos. A continuación, se leyeron las respuestas y se fueron agrupando en categorías atendiendo a los elementos explicativos que utilizaban (Fisher, 1998). Dos investigadoras efectuaron la categorización de las respuestas de forma independiente. En esta primera ronda se alcanzó un consenso del 78 %. Luego, ambas investigadoras discutieron la clasificación de las respuestas, en las que hubo discrepancia hasta que se alcanzó un acuerdo.

Una vez construidas las categorías, se realizó un nuevo análisis de las respuestas basándonos en los tipos de razonamiento de Bell-Basca et al. (2000) con relación a los patrones de razonamiento que activan los estudiantes en sus explicaciones, o cuando se les solicita que justifiquen sus respuestas a una determinada cuestión. Construimos así tres niveles según el tipo de razonamiento:

- *Nivel 0.* En este nivel se incluyen repuestas en las que no aparece ninguna justificación o esta no es codificable.
- *Nivel 1.* En este nivel se incluyen repuestas tautológicas, descriptivas o características de un pensamiento causal simple con razonamiento de un solo paso.
- *Nivel 2.* En este nivel se incluyen las respuestas en las que se activan patrones de pensamiento complejo de más de un paso, como patrones causales dominó, patrones causales cíclicos o patrones causales tipo interactivo.

RESULTADOS

En este apartado se describen las categorías derivadas del análisis de las respuestas a cada una de las preguntas del cuestionario. En las tablas, junto a cada categoría, se indica la frecuencia, así como un código que hace referencia a los estudiantes cuyas respuestas se encuadraron en dicha categoría. Las iniciales de los códigos hacen referencia al curso y a la especialidad: A (1.º de Bachillerato, itinerario de Artes), C (1.º de Bachillerato, itinerario de Ciencias) y D (4.º de la ESO de diversificación).

Pregunta 1

Elementos explicativos

La primera pregunta (figura 2) plantea la necesidad de los descomponedores en los ecosistemas. Como se observa en la tabla 1, las dos primeras categorías son no contesta y no codificable. La tercera categoría hace referencia a las respuestas tautológicas. El resto de las categorías agrupan respuestas que hacen referencia a la idea de que desaparece la vida en la isla. La cuarta categoría agrupa las respuestas que expresan la conclusión anterior pero no la justifican; por tanto, son respuestas descriptivas sin elementos explicativos (Fisher, 1998). La quinta categoría agrupa las respuestas que incluyen la idea de que desaparece la vida porque mueren los seres vivos que precisan de hongos y bacterias. La sexta categoría agrupa las respuestas que hacen referencia a que los hongos y las bacterias proporcionan determinados nutrientes necesarios para las plantas. En estas respuestas ya existe cierta conexión con los ciclos biogeoquímicos y el papel de los descomponedores en la transformación de materia orgánica e inorgánica.

Tabla 1.
Resultados de la pregunta 1. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26)
que dan respuestas para cada una de las categorías.
A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO)

<i>Categoría</i>	<i>Justificación</i>	<i>Códigos</i>	<i>f</i>	<i>(%)</i>	<i>Ejemplos</i>
1. No contesta	-	4A	1	3,8	-
2. No codificable	-	1A, 3A	2	7,7	-
3. Desaparecen las bacterias y los hongos (tautológica)	Descriptivo. No justifica.	5D, 2A	2	7,7	Empiezan a desaparecer las bacterias y los hongos (5D).
4. Desaparece la vida	Descriptivo. No justifica.	1D, 2D, 3D, 4D, 7A, 11A, 14A, 3C, 6C	9	34,6	Desaparece todo tipo de vegetación (2D).
5. Desaparece la vida	Mueren seres vivos que precisan de hongos y bacterias (para crecer o como fuente de alimento o de energía).	9A, 10A, 12A, 1C, 2C	5	19,2	Los organismos que se alimentan de hongos y bacterias morirán. Aquellos seres vivos que se alimentaban de los que comían hongos y bacterias también morirán, y así sucesivamente ascendiendo en la cadena trófica... (1C).
6. Desaparece la vida	Hongos y bacterias proporcionan nutrientes.	4C, 5C	2	7,7	La tierra de la isla no estará fertilizada. Las plantas no absorberían el nitrógeno que necesitan y no podrán realizar la fotosíntesis, por lo que la fauna empezará a desaparecer (4C).
7. Desaparece la vida	Los hongos y las bacterias son necesarios para la descomposición.	5A, 6A, 8A, 13A, 7C	5	19,2	[...] Acabaría desapareciendo la vida porque una vez rota la cadena alimentaria son los encargados de descomponer los organismos muertos y renovar la materia (7C).

La séptima categoría agrupa las respuestas que hacen referencia al papel de los hongos y de las bacterias en la descomposición de los seres y el reciclado de la materia.

Como se observa en la tabla 1, nueve estudiantes concluyeron que desaparecerá la vida, pero dan respuestas descriptivas sin justificación. Cinco estudiantes justificaron la desaparición de la vida haciendo referencia a la importancia de hongos y bacterias. Solamente dos estudiantes justificaron la desaparición de la vida haciendo mención al papel de hongos y bacterias de proporcionar nutrientes, en concreto nitrógeno, para las plantas. Únicamente cinco estudiantes indicaron la importancia de los hongos y las bacterias en la descomposición y el reciclado de la materia, y solo dos estudiantes mencionaron la materia orgánica y la inorgánica, pero confunden el sentido de la transformación afirmando que las plantas obtendrán alimento y energía de la materia orgánica, por lo que podría tratarse más de un modelo alternativo que de una simple confusión entre términos.

Aunque las respuestas que se incluyen en esta categoría son de un mayor nivel de sofisticación, hay ideas alternativas que parecen ser expresión de un modelo de nutrición de las plantas a través del suelo que ya se ha descrito en numerosas publicaciones (e. g. Barman, Stein, McNair y Barman, 2006; Cañal, 1999; Carlsson, 2002; García-Barros y Martínez-Losada, 2005).

Patrones de razonamiento causal

En relación con los niveles de razonamiento causal, podemos observar en la tabla 2 que, de todos los estudiantes, el 11,6 % estarían en el nivel cero, el 42,2 % dan explicaciones descriptivas o tautológicas de nivel 1 y un porcentaje similar da explicaciones en el nivel 2. Todos los estudiantes de 4.º de la ESO de diversificación dan explicaciones tautológicas o descriptivas, frente a un 28,6 % de los estudiantes de Bachillerato de Arte y de Ciencias. El 50 % de los estudiantes de Arte y el 71,4 % de los estudiantes de Ciencias dan explicaciones de nivel 2, que agrupa respuestas en las que se aplican tipos de razonamiento más complejo tipo dominó.

Tabla 2.
Resultados de la pregunta 1. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26) que dan respuestas en cada uno de los niveles según los patrones de razonamiento causal. A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO).

	D (N _D = 5)			A (N _A = 14)			C (N _C = 7)			Total (N _T = 26)	
	Código	f	%	Código	f	%	Código	f	%	f	%
Nivel 0	-	0	0	1A, 3A, 4A	3	21,4	0	0	0	3	11,6
Nivel 1	1D, 2D, 3D, 4D, 5D	5	100	2A, 7A, 11A, 14A	4	28,6	3C, 6C	2	28,6	11	42,2
Nivel 2	-	0	0	5A, 6A, 8A, 9A, 10A, 12A, 13A	7	50,0	1C, 2C, 4C, 5C, 7C	5	71,4	12	46,2

Pregunta 2

Elementos explicativos

Esta pregunta hace referencia al flujo de energía. A diferencia del reciclado de la materia, que es cíclico, la energía no puede ser usada una y otra vez porque pasa a formas de energía no asimilables por los sistemas biológicos, de ahí que se hable de flujo de energía.

Para categorizar las respuestas se tuvo en cuenta, en primer lugar, los términos que señalan como fuentes de energía para las plantas. Como podemos observar en la tabla 3, hay estudiantes que marcan cuatro opciones (*agua, suelo, luz solar y fertilizantes*); otros marcan tres opciones (*agua, suelo y luz solar*; o bien, *suelo, luz solar y bacterias*); algunos estudiantes señalan únicamente dos términos (*agua y luz solar*; o bien, *suelo y luz solar*), o únicamente el término *luz solar*.

Los que marcan cuatro opciones (*agua, suelo, luz solar y fertilizantes*) son dos alumnos de Artes que justifican la elección señalando que todos esos elementos son necesarios para las plantas. Diecisiete estudiantes señalan *agua, suelo y luz solar*. Siete de ellos no justifican la respuesta, siendo la mayoría del itinerario de Artes. Un estudiante de Artes y cuatro de Ciencias justifican la elección indicando que son necesarios para la fotosíntesis. Únicamente un estudiante de Ciencias señala los términos *suelo, luz solar y bacterias*, y justifica la respuesta haciendo mención a que las plantas verdes obtienen energía a partir de la energía de la luz solar y obtienen nutrientes del suelo, y señala que las bacterias proporcionan fertilizantes al suelo. Solamente un estudiante de 1.º de Bachillerato de Ciencias señala únicamente la luz solar y justifica la respuesta.

Tabla 3.
Resultados de la pregunta 2. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26)
que dan respuestas para cada una de las categorías.
A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO)

<i>Categoría</i>	<i>Justificación</i>	<i>Códigos</i>	<i>f (%)</i>	<i>%</i>	<i>Ejemplos</i>
1. No contesta	-	-	-	-	-
2. Agua, suelo, luz solar, fertilizantes	No justifica	-	2	7,7	El agua es imprescindible para todos los seres vivos. La luz ayuda a las plantas en su crecimiento y a producir O ₂ una vez que absorbido o CO ₂ . Del suelo aprovechan las sales minerales. Los fertilizantes ayudan al crecimiento (5A). Mediante la fotosíntesis transforman agua, fertilizantes y luz solar en energía. En el suelo es donde se encuentran los fertilizantes y las sales minerales (13A).
	Justifica	5A, 13A			
3. Agua, suelo, luz solar	No justifica	4D, 2A, 3A, 4A, 8A, 14A, 1C	17	65,3	Son necesarias por los nutrientes que les aportan (6A). El agua es necesaria para la hidratación. El suelo es necesario porque toma nutrientes. La luz solar es necesaria para que toda la planta realice la fotosíntesis (12 A). La luz solar es necesaria para transformar la sabia bruta en sabia elaborada en el proceso de la fotosíntesis y este está formado por agua y por minerales y nutrientes que se encuentran en el suelo (7C).
	Justifica	2D, 3D, 6A, 7A, 9A, 12A, 3C, 4C, 6C, 7C			
4. Suelo, luz solar, bacterias	No justifica	-	1	3,8	Las plantas verdes obtienen energía a partir de la energía de la luz solar y además obtienen sus nutrientes del suelo (del cual absorben agua, minerales, etc.). Además, las bacterias proporcionan fertilizantes al suelo de los cuales se aprovechan las plantas verdes (5C).
	Justifica	5C			
5. Agua, luz solar	No justifica	1A, 11A	4	15,2	Las plantas no necesitan tantas cosas para vivir (1D). Porque el agua y la luz solar son lo que necesitan todas las plantas (5D).
	Justifica	1D, 5D			
6. Suelo, luz solar	No justifica	10A	1	3,8	-
	Justifica	-			
7. Luz solar	No justifica	-	1	3,8	La luz solar porque el agua y las sales minerales son sustancias inorgánicas que se emplean para transformar las sustancias orgánicas gracias a la fuente de energía de la luz solar (2C).
	Justifica	2C			

Patrones de razonamiento causal

En relación con los niveles de patrones de razonamiento, podemos observar en la tabla 4 que, de todos los estudiantes, el 38,5 % estaría en el nivel cero, el 34,6 % en el nivel 1 y solo el 26,9 % da explicaciones en el nivel 2. Los estudiantes de 4.º de la ESO de diversificación dan explicaciones tautológicas o descriptivas en un 80 %, frente a un 21,4 % de los estudiantes de Bachillerato de Artes y un 28,6 % de los estudiantes de Bachillerato de Ciencias. Entre las explicaciones del nivel 2, que agrupa respuestas de los estudiantes que aplican razonamiento causal de varios pasos o las ideas de interacción y ciclo, e incluyen características de pensamiento complejo, están el 21,4 % de los estudiantes de Artes y el 57,1 % de los estudiantes de Ciencias.

Tabla 4.

Resultados de la pregunta 2. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26) que dan respuestas para cada uno de los niveles según los patrones de razonamiento causal. A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO)

	D (N _D = 5)			A (N _A = 14)			C (N _C = 7)			Total (N _T = 26)	
	Código	f	%	Código	f	%	Código	f	%	f	%
Nivel 0	4D	1	20	1A, 2A, 3A, 4A, 8A, 10A, 11A, 14A	8	57,2	1C	0	14,3	10	38,5
Nivel 1	1D, 2D, 3D, 5D	4	80	6A, 7A, 9A	3	21,4	3C, 4C	2	28,6	9	34,6
Nivel 2	-		0	5A, 12A, 13A	3	21,4	2C, 5C, 6C, 7C	4	57,1	7	27,0

Pregunta 3

Elementos explicativos

Como ya se indicó, con este ítem (figura 2) se pretendía conocer si el alumnado era capaz de separar los alimentos que aportan energía de sustancias de baja energía y de formas de energía que no podemos utilizar.

Para categorizar las respuestas se tuvieron en cuenta, en primer lugar, los términos que los estudiantes señalan como fuentes de energía para las funciones vitales de los seres humanos (tabla 5). En esta pregunta nos pareció de interés analizar, además, cuántos alumnos señalan cada uno de los términos, ya que permite conocer la frecuencia y el porcentaje de estudiantes que conciben cada término como un alimento que aporta energía (tabla 6). En este análisis, como cada participante puede señalar más de un término, el sumatorio de los porcentajes es mayor de 100.

Tabla 5.
Resultados de la pregunta 3. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26) que dan respuestas para cada una de las categorías.
A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO).

<i>Categoría</i>	<i>Justificación</i>	<i>Códigos</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>Ejemplos</i>
1. No contesta	-	-	0	0	-
2. Leche, agua, carne, energía térmica, azúcar, minerales, luz solar	No justifica	5D	3	11,4	Necesitamos todo para sobrevivir (1D).
	Justifica	1D, 14A			
3. Leche, agua, carne, azúcar, luz solar	No justifica	6A, 5C	2	7,6	-
	Justifica	-			
4. Leche, agua, carne, minerales	No justifica	3D, 4D, 5C	3	11,4	-
	Justifica	-			
5. Leche, agua, carne, azúcar	No justifica	-	1	3,8	-
	Justifica	4C			
6. Leche, agua, minerales	No justifica	-	1	3,8	-
	Justifica	3C			
7. Agua, carne, azúcar, minerales	No justifica	10A	1	3,8	-
	Justifica	-			
8. Agua, carne, minerales	No justifica	2D	1	3,8	El agua es fundamental ya que no podemos vivir dos días sin tomarla. Y para una buena alimentación proteínas y minerales (2D).
	Justifica	-			
9. Agua, luz solar	No justifica	1A, 1C	3	11,4	-
	Justifica	5C			
10. Agua, minerales, luz solar	No justifica	2A, 7A, 8A, 9A	6	22,8	El agua es necesaria porque nuestro cuerpo es fundamentalmente agua. La luz solar nos aporta vitamina sobre todo vitamina D, imprescindible para el crecimiento de los huesos y de los músculos (6C).
	Justifica	6C, 7C			
11. Agua, azúcar, minerales, luz solar	No justifica	12A	1	3,8	-
	Justifica	-			
12. Agua, energía térmica, azúcares	No justifica	11A	1	3,8	-
	Justifica	-			
13. Carne, azúcar	No Justifica	3A, 2C	2	7,6	-
	Justifica	-			
14. Energía térmica, azúcar	No Justifica	-	1	3,8	La leche y el agua aportan nutrientes. La carne aporta proteínas (elementos estructurales). Los minerales aportan elementos estructurales. La luz solar aporta vitamina C, no energía. La energía térmica y el azúcar sí aportan energía (13A).
	Justifica	13A			
15. Agua	No justifica	4A	1	3,8	-
	Justifica	-			

En la tabla 5 vemos que tres estudiantes señalan *leche, agua, carne, energía térmica, azúcar, minerales y luz solar* como fuente de energía que las personas necesitamos para llevar a cabo las funciones vitales tales como respirar, movernos o crecer. Solo dos estudiantes señalan *carne y azúcar*. En la tabla 5, además, se pueden ver las pocas justificaciones que dan a estas respuestas y que ningún estudiante señala *leche, carne y azúcar*, que sería la respuesta correcta.

En la tabla 6 vemos que el 84,6 % de los estudiantes señalan el *agua* como fuente de energía para que el ser humano realice las funciones vitales, el 19,2 % señalan la *energía térmica*, el 57,7 % los *minerales* y el 50 % la *luz solar*. En relación con los términos que sí representan fuentes de energía para los seres humanos, solo el 34,6 % señalan la *leche*, el 46,1 % la *carne* y el 53,9 % el *azúcar*.

Tabla 6.
Resultados de la pregunta 3. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26) para cada uno de los términos.
A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO)

	D (N _D = 5)			A (N _A = 14)			C (N _C = 7)			Total (N _T = 26)	
	Código	f	%	Código	f	%	Código	f	%	f	%
Leche	1D, 3D, 4D, 5D	4	80	6A, 14A	2	14	3C, 4C, 5C	3	60	9	34,6
Agua	1D, 2D, 3D, 4D, 5D	5	100	1A, 2A, 4A, 6A, 7A, 8A, 9A, 10A, 11A, 12A, 14A	11	78,6	1C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C	6	75	22	84,6
Carne	1D, 2D, 3D, 4D, 5D	5	100	3A, 6A, 10A, 14A	4	28,6	2C, 4C, 5C	3	60	12	46,1
Energía térmica	1D	1	20	5A, 11A, 13A, 14A	4	28,6	-	0	0	5	19,2
Azúcar	1D, 5D	2	40	3A, 5A, 6A, 9A, 10A, 11A, 12A, 13A, 14A	9	64,3	2C, 4C, 5C	3	60	14	53,9
Minerales	1D, 2D, 3D, 4D, 5D	5	100	2A, 7A, 8A, 9A, 10A, 12A, 14A	7	50,0	3C, 6C, 7C	3	60	15	57,7
Luz solar	1D, 5D	2	40	1A, 2A, 5A, 6A, 7A, 8A, 12A, 14A	8	57,1	1C, 6C, 7C	3	60	13	50,0

Patrones de razonamiento causal

En relación con los patrones de razonamiento causal, en la tabla 7 podemos ver que la mayoría de los estudiantes, un 73,1 %, no justifican la respuesta, y el 26,9 % estarían en el nivel 1.

El 60 % de los estudiantes de diversificación, el 92,9 % de los de Artes y 42,9 % de los estudiantes de Ciencias no justifican la respuesta. Únicamente el 40 % de los estudiantes de 4.º de la ESO de diversificación, el 7,1 % de los de la especialidad de Artes y el 57,1 % de los de la especialidad de Ciencias justifican las respuestas. En cualquier caso, estas justificaciones estarían en un nivel 1, ya que son tautológicas o descriptivas o activan un razonamiento lineal simple de un solo paso.

Tabla 7.

Resultados de la pregunta 3. Frecuencia (f) y porcentaje (%) de estudiantes (N = 26) que dan respuestas para cada uno de los niveles según los patrones de razonamiento causal. A (Bachillerato de Artes), C (Bachillerato de Ciencias) y D (4.º ESO)

	D (N _D = 5)			A (N _A = 14)			C (N _C = 7)			Total (N _T = 26)	
	Código	f	%	Código	f	%	Código	f	%	f	%
Nivel 0	3D, 4D, 5D	3	60,0	1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 7A, 8A, 9A, 10A, 11A, 12A, 14A	13	92,9	1C, 2C, 5C	3	42,9	19	73,1
Nivel 1	1D, 2D	2	40,0	13A	1	7,1	3C, 4C, 6C, 7C	4	57,1	7	26,9
Nivel 2	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al analizar la primera pregunta del cuestionario sugieren que, en general, los estudiantes conocen que las bacterias y los hongos juegan un papel importante en el mantenimiento de la vida en el ecosistema. Sin embargo, únicamente un 19,2 % de los participantes los relacionan de forma explícita con los procesos de descomposición. Smith y Anderson (1986) ya señalaron las dificultades de los estudiantes para aplicar las ideas relacionadas con el proceso cíclico de la transformación de la materia, y para incorporar a ese ciclo el O₂ y el CO₂. Para muchos el suelo es una fuente inagotable de materiales, no dependiendo necesariamente de la intervención de los seres mineralizadores. Detrás de estas ideas puede que se manifiesten otras dificultades como entender la naturaleza de la materia orgánica, la diferencia entre átomos y moléculas, y las transformaciones de la materia (Andersson, 1990; Helldén, 2004).

Por otro lado, hay investigaciones como la de Leach et al. (1996) en la que se describe que la mayoría de los participantes de su estudio (5-16 años), independientemente de la edad, tenían dificultades para comprender que los organismos muertos comenzaban a formar parte del ambiente abiótico al descomponerse. El problema subyacente era que un alto porcentaje del alumnado mostraba una falta del concepto de conservación de la materia. Consideraban que, con la descomposición, la materia desaparecía. Bell-Basca et al. (2000) también detectaron que los estudiantes desconocen el papel de los descomponedores.

En nuestro caso, un 80,7 % de los estudiantes hacen referencia a que, al desaparecer los hongos y las bacterias, desaparece la vida y, por tanto, entienden que estos organismos tienen un papel fundamental en el funcionamiento del ecosistema, siendo capaces de aplicar las ideas referentes a la importancia de los hongos y bacterias, y de predecir qué ocurriría si desapareciesen. Sin embargo,

únicamente 2 de los 26 participantes vinculan los hongos y las bacterias con la presencia de compuestos inorgánicos, al relacionar la presencia de los hongos y las bacterias con la disponibilidad de nitrógeno; y solo 5 estudiantes mencionan la importancia de los hongos y las bacterias en la descomposición de la materia. Por tanto, no podemos interpretar que aplican el ciclo de la materia ya que, en general, no hacen referencia al papel de los microorganismos en la transformación de la materia orgánica en materia inorgánica. Cuando sí hacen referencia a que los hongos y las bacterias son los descomponedores, solo dos estudiantes explicitan que los hongos y las bacterias transforman la materia, pero se confunden al indicar el sentido de la transformación ya que señalan que transforman materia inorgánica en orgánica. Parece entonces que confunden la materia orgánica y la inorgánica, y que a los descomponedores se les atribuye el papel de pasar la materia inorgánica a orgánica, considerando que estas formas orgánicas son las asimilables por las raíces de las plantas. Este error se debe seguramente a la falta de aplicación de conceptos químicos. Además, detrás de estas concepciones puede estar el modelo alternativo de nutrición vegetal a través de la tierra, sin considerar el papel de la fotosíntesis al construir materia orgánica a partir del CO_2 del aire.

También es importante mencionar que muchos estudiantes introducen el término *cadena trófica* o hacen referencia a la idea de interconexión de unas especies con otras, por lo que parece que tienen claro que, si las plantas desapareciesen, el siguiente eslabón (herbívoros) también desaparecería.

En lo que respecta a la segunda pregunta del cuestionario, a través de la que se pretendía conocer si los estudiantes eran capaces de aplicar ideas sobre el flujo de energía, se esperaba que el alumnado que entendiera y aplicara esta idea marcara únicamente como respuesta la luz solar. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes marcaron más opciones y las justificaron con ideas que ponen en evidencia, en algunos casos, dificultades de comprensión de la naturaleza de la energía, la transformación de la energía y el significado del flujo de energía en los ecosistemas. Más del 90 % del alumnado marcó la luz solar como fuente de energía para las plantas. Sin embargo, más del 75 % de los estudiantes marcaron, además, el suelo y el agua como fuentes de energía, y solamente uno de los participantes marcó únicamente luz solar.

Estos resultados ponen de manifiesto que una de las dificultades para entender el concepto de ecosistema es la comprensión del concepto de energía (e. g. Park y Johnson, 2016). Muchas veces, para los estudiantes la energía es una cosa en las clases de Física y otra en las clases de Química o Biología (e. g. Langor, 2014; Liu y McKeough, 2005).

Por otro lado, al analizar las justificaciones, nos damos cuenta de que los estudiantes no citan el CO_2 como fuente de carbono para la construcción de la materia orgánica durante la fotosíntesis. Este es uno de los obstáculos de los estudiantes a la hora de conceptualizar el ciclo del carbono (Düsing et al., 2018). Parece que existen grandes dificultades en entender que los átomos de carbono del gas CO_2 pasen a formar parte de compuestos orgánicos sólidos.

Como ya se comentó anteriormente, con la tercera cuestión se pretendía conocer si los estudiantes eran capaces de separar los alimentos que aportan energía (leche, carne, azúcar) de sustancias de baja energía química (agua y minerales) y de formas de energía que no podemos utilizar como fuentes de energía somática (luz solar, energía térmica). Para responder de forma adecuada a esta pregunta es preciso discriminar los alimentos que aportan energía de sustancias de baja energía y de formas de energía que no podemos utilizar.

Muchos estudiantes señalaron la luz solar (50 %) y bastantes señalaron la energía térmica (19,2 %) como fuentes de energía para las funciones vitales de los seres humanos. Esto parece indicar que estos estudiantes no aplican la idea de que los organismos autótrofos son los únicos capaces de transformar la energía de la luz en energía química y que el resto de los organismos obtienen energía de la energía química de los alimentos. También se ven dificultades para entender que la energía térmica es una fuente de energía no asimilable por los sistemas biológicos. Por otra parte, muchos estudiantes

(84,6 %) señalan el agua como una fuente de energía somática y se observan dificultades en entender que moléculas como el azúcar son moléculas orgánicas ricas en energía química.

En relación con los patrones de razonamiento que aplican, en la primera cuestión, del total de participantes, un 42 % dan respuestas que se pueden incluir en el nivel 2 del pensamiento causal. Los estudiantes de diversificación aplican en todas sus respuestas un nivel de razonamiento causal simple. De los estudiantes de la especialidad de Artes, la mitad utiliza un pensamiento causal complejo, frente a dos tercios de los estudiantes de Ciencias. De ahí que podamos decir que hay estudiantes que sí son capaces de aplicar razonamiento causal complejo para explicar las consecuencias de la desaparición de los descomponedores.

Respecto a la aplicación de razonamiento causal complejo al justificar las respuestas a la segunda pregunta, vemos que, del total de los estudiantes, menos de un tercio utilizan un razonamiento causal complejo. También es interesante señalar que en esta pregunta todos los estudiantes de diversificación o no justifican la respuesta, o dan explicaciones tautológicas o descriptivas. De ahí que podamos decir que hay estudiantes que sí son capaces de aplicar razonamiento causal complejo para discriminar, entre diferentes fuentes de energía, las utilizables por las plantas, pero en menor medida que en la pregunta anterior, que trata del papel de los descomponedores.

En relación con la tercera pregunta del cuestionario, de los resultados obtenidos se desprende una falta de comprensión del concepto de energía y, en concreto, una falta de comprensión de que los compuestos orgánicos son compuestos ricos en energía química. La falta de comprensión de estos conceptos los lleva a responder de forma incorrecta y a no ser capaces de justificar la respuesta. Los pocos alumnos que justifican las respuestas lo hacen mediante justificaciones de bajo nivel en relación con los patrones de razonamiento causal.

En las tres preguntas del cuestionario, las respuestas de los estudiantes muestran que la aplicación de patrones de razonamiento causal complejo parece depender de la familiaridad con el tema, de ahí que haya una mayor aplicación de patrones de razonamiento causal complejo en los estudiantes de ciencias.

Por otro lado, se observa una mayor frecuencia de aplicación de patrones de razonamiento causal complejo en las preguntas que hacen referencia al papel de los descomponedores que en las preguntas en donde se trata de aplicar conceptos relacionados con el flujo de energía. La menor frecuencia se presenta en la tercera pregunta, seguramente porque no son capaces de conceptualizar el significado de compuestos orgánicos ricos en energía química.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

A partir de los resultados obtenidos, podemos señalar que casi todos los estudiantes son conscientes de que los hongos y las bacterias cumplen un papel esencial en el funcionamiento de los ecosistemas. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes no lo relacionan de forma explícita con los procesos de descomposición. Además, tienen dificultades para aplicar conceptos básicos de ecología, como el papel de los organismos descomponedores en la transformación de la materia orgánica en inorgánica. En general, los estudiantes no mencionan el reciclado de nutrientes al pasar de formas orgánicas a inorgánicas, poniéndose de manifiesto una comprensión incompleta del ciclo de la materia en los ecosistemas. Podemos decir que la mayoría tienen dificultades para conectar las transformaciones de la materia a nivel macroscópico y las explicaciones utilizando modelos atómico-moleculares.

En este trabajo se ponen de manifiesto las dificultades de los estudiantes al discriminar, de entre diferentes fuentes de energía, la energía utilizada por las plantas verdes, y de aplicar la idea de que las plantas son organismos autótrofos capaces de transformar la energía solar en energía química. Esto es

indicativo de que los estudiantes no tienen claros los conceptos de energía, transformación de energía y el significado del flujo de energía en los ecosistemas.

Los participantes en este estudio tuvieron dificultades en diferenciar alimentos que aportan energía de sustancias con baja energía. Muchos estudiantes señalaron la luz solar y bastantes estudiantes señalaron la energía térmica como fuentes de energía para las funciones vitales de los seres humanos. Esto parece mostrar que estos estudiantes no asimilaban la idea de que los organismos autótrofos son los únicos capaces de transformar la energía de la luz en energía química. También se ven dificultades para entender que la energía térmica es una fuente de energía no asimilable por los sistemas biológicos.

En relación con si existen diferencias en la activación de patrones causales entre estudiantes con dificultades generalizadas de aprendizaje y entre los estudiantes que cursan diferentes ramas de Bachillerato, los resultados sugieren que la familiaridad con los conceptos es clave para elaborar explicaciones activando patrones de razonamiento causal complejo. Se observa que los estudiantes con dificultades generalizadas de aprendizaje tienden a no justificar las respuestas o bien, si lo hacen, activan patrones de razonamiento causal simple. También se observan diferencias entre los estudiantes de Artes y de Ciencias, siendo estos últimos los que utilizan en mayor medida formas de razonamiento complejo. Sin embargo, se observan diferencias sustanciales en los niveles de justificación en las tres cuestiones. La activación de patrones de razonamiento complejo es más frecuente en la pregunta que trata el papel de los descomponedores que en la pregunta que trata sobre la fuente de energía para las plantas. Sin embargo, en la cuestión sobre las fuentes de energía somática para los seres humanos en las justificaciones no se vislumbra razonamiento causal complejo.

Respecto a las implicaciones didácticas de este trabajo, hay que señalar, en primer lugar, que aspectos básicos como el papel de los organismos descomponedores en la transformación de la materia orgánica en inorgánica o el papel de las plantas en el flujo de energía están presentes en el currículo, pero se suelen tratar de forma desconectada. Para aumentar la alfabetización ecológica de los estudiantes, consideramos que estos conceptos deben ser tratados durante varios cursos, aumentado en cada curso el nivel de sofisticación. Además, como se señala en diversos trabajos (e. g. Düsing et al., 2018), se debe hacer un mayor esfuerzo en conectar el funcionamiento de los ecosistemas (los ciclos de la materia y el flujo de la energía) con los procesos fisiológicos (la fotosíntesis, la respiración y la descomposición) y los aspectos químicos y bioquímicos. En este sentido es importante utilizar estrategias didácticas que ayuden a los estudiantes a hacer explícitas sus ideas, a contrastarlas y a integrar contenidos de Biología con contenidos de Química y de Física para entender el funcionamiento de los ecosistemas y aplicar patrones de razonamiento causal complejo. De esta forma, se dará la oportunidad de construir poco a poco un dominio conceptual coherente e integrado que permita a los estudiantes entender cómo funciona la naturaleza, por qué generamos impactos negativos con nuestras actividades y cómo podemos dejarnos ayudar por la naturaleza para vivir de una manera más respetuosa y responsable con el medio ambiente.

Consideramos que este estudio tiene limitaciones que podrían ser abordadas en futuras investigaciones. Sería interesante ampliar la muestra e incluir datos de entrevistas que permitan analizar con más profundidad las dificultades de los estudiantes a la hora de aplicar conceptos de ecología y activar patrones de razonamiento complejo.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto EDU2015-66643-C2-2-P financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y al proyecto EDU2017-82915-R del Plan Nacional de la Agencia Estatal de Investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (AEI/FEDER, UE).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeniyi, E. O. (1985). Misconceptions of selected ecological concepts held by some Nigerian students. *Journal of Biological Education*, 19, 311-316.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654758>
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
<https://doi.org/10.1080/03057269008559981>
- Ausubel, D. P. y Barberán, G. S. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Barker, S. y Slingsby, D. (1998). From nature table to niche: Curriculum progression in ecological concepts. *International Journal of Science Education*, 20(4), 479-486.
<https://doi.org/10.1080/0950069980200407>
- Barman, C. R., Stein, M., McNair, S. y Barman, N. S. (2006). Students' ideas about plants & plant growth. *The American Biology Teacher*, 68(2), 73-79.
<https://doi.org/10.2307/4451935>
- Bell-Basca, B., Grotzer, T. A., Donis, K. y Shaw, S. (2000, abril). *Using domino and relational causality to analyze ecosystems: Realizing what goes around comes around*. Comunicación presentada en Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Nueva Orleans.
- Berkowitz, A. R., Ford, M. E. y Brewer, C. A. (2005). A framework for integrating ecological literacy, civics literacy, and environmental citizenship in environmental education. En E. Johnson y M. Mappin (Eds.), *Environmental education and advocacy: Changing perspectives of ecology and education* (pp. 227-266). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bravo, B. y Jiménez, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 425-442.
- Brehm, S., Anderson, C. W. y DuBay, J. (1986). *Ecology: A teaching module. Paper No. 94*. Michigan: Michigan State University.
- Cañal, P. (1999). Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: An inevitable misconception? *International Journal of Science Education*, 21(4), 363-371.
<https://doi.org/10.1080/095006999290598>
- Capra, F. (1995). *The web of life: A new synthesis of mind and matter*. Londres: Harper Collins.
- Carlsson, B. (2002). Ecological understanding 1: Ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 24(7), 681-699.
<https://doi.org/10.1080/09500690110098868>
- Düsing, K., Asshoff, R. y Hammann, M. (2018). Students' conceptions of the carbon cycle: identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education*, 1-16.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447002>
- Fernández, R. y Casal, M. (1995). La enseñanza de la ecología: Un objetivo de la educación ambiental. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 295-312.
- Fisher, B. (1998). Australian students' appreciation of the greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Teachers Journal*, 44(3), 46-55.
- García-Barros, S. y Martínez-Losada, C. (2005). La nutrición en textos escolares del último ciclo de Primaria y primero de Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-6.

- García-Rodeja, I. (1996). Looking through a microscope. En A. Giordan y Y. Giroult (Eds.), *The new learning models* (pp. 187-196). Nice: Z Editions.
- Grotzer, T. A. y Basca, B. B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655891>
- Hellén, G. F. (2004). A study of recurring core developmental features in students' conceptions of some key ecological processes. *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education*, 4(1), 59-76.
<https://doi.org/10.1080/14926150409556597>
- Ibarra, J., Carrasquer, J. y Gil, M. J. (2010). Un proceso oscuro y anónimo: La descomposición de la materia viva. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17(64), 99-108.
- Lancor, R. A. (2014). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.714512>
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. y Wood-Robinson, C. 1996. Children's ideas about ecology 2: Ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18(1), 19-34.
<https://doi.org/10.1080/0950069960180102>
- Liu, X. y McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517.
<https://doi.org/10.1002/tea.20060>
- Marmaroti, P. y Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403.
<https://doi.org/10.1080/09500690500277805>
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2007). *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establece las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE 05/01/2007, Madrid.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MECD) (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE 03/01/2015, Madrid.
- Munson, B. H. (1994). Ecological misconceptions. *Journal of Environmental Education*, 25(4), 30-34.
<https://doi.org/10.1080/00958964.1994.9941962>
- Park, M. y Johnson, J. A. (2016). Evaluation of students' energy conception in Environmental Science. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(12), 5572-5590.
- Prieto, T., Blanco, A. y Brero, V. (2002). Progresión en el aprendizaje de dominios específicos: Una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 3-14.
- Sánchez, F. y Pontes, A. (2010). La comprensión de conceptos de ecología y sus implicaciones para la educación ambiental. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, 271-285.
- Smith, E. L. y Anderson, C. W. (1986, abril). *Alternative student conceptions of matter cycling in ecosystems*. Comunicación presentada en Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco.
- Taylor, S. J. y Bodgan, R. (1998). *Introduction to qualitative research methods: A guidebook and resource*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wittrock, M. C. (1992). Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist*, 27(4), 531-541.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep2704_8

Competence of high school students to apply ideas about the functioning of ecosystems

Isabel García-Rodeja Gayoso, Elba Tamara Silva García, Vanessa Sesto Varela
Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España
isabel.garcia-rodeja@usc.es, elbatami@hotmail.com, vanessa.sesto@usc.es

Understanding most of the processes that occur in the environment requires the capacity to construct explanations about the matter cycle and the energy flow between ecosystems, as well as to describe the transformations of matter according to its specific nature. Many of the students' learning difficulties with the concept of ecosystem are due to the fact that students represent trophic networks as linear sequences by using a simple pattern of causal thinking. This paper aims to analyse the students' competence when applying ideas related to the functioning of ecosystems and the patterns of causal thinking that they activate in their explanations.

The participants were tenth-grade students (specialty in Science and Arts) and ninth-grade students with generalized learning difficulties. Data collection included students' written responses to an open-ended questionnaire. This questionnaire included three statements related to the need for decomposers in the ecosystem, the role that plants play in the energy flow of ecosystems, and the concept of chemical energy. For the analysis, we read and interpreted the participants' answers to each question, developing categories and paying attention to the key ideas to which students referred in their answers. Then, we classified the students' explanations into three levels according to the nature of the causal reasoning patterns they activate: *level 0* includes responses in which no justification appeared or is not codifiable; *level 1* includes tautological or descriptive explanations, as well as those answers where a simple causal thinking was activated; while *level 2* includes responses in which complex patterns of thinking were activated.

The findings point out that, in general, participants know that bacteria and fungi play an important role in maintaining the ecosystem alive. However, only 19,2 % of the participants related them explicitly to the decomposition processes. The results also highlight the difficulties of participants to discriminate, from different energy sources, the energy used by green plants. Moreover, most participants were unable to apply the idea that plants are autotrophic organisms capable of transforming solar energy into chemical energy. This shows that students, in general, show no clear notions about energy transformation and energy flow in ecosystems. In addition, participants had difficulties to discern between foods that provide energy and substances with low levels of energy. Many students pointed out that sunlight and thermal energy are sources of energy for the vital functions of human beings. This seems to indicate that many students do not assimilate the idea that autotrophic organisms are the only ones capable of transforming sunlight into chemical energy. Moreover, the participants had difficulties in understanding that thermal energy is an energy source that biological systems cannot assume.

With regard to the activation of patterns of thinking, the results suggest that familiarity with the concepts is key to elaborate explanations in which complex patterns of thinking are activated. It was observed that students with generalized learning difficulties tended to not justify their responses or, if they did, they activated patterns of simple causal reasoning. There were also differences between students of Arts and Sciences. The latter were the ones who used forms of complex reasoning to a greater extent.

These findings suggest the need of using didactic strategies to help students make their ideas explicit, contrast them and relate content of biology to that of chemistry and physics so as to understand the functioning of ecosystems and apply complex patterns of reasoning.

